



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Yat Limanlarındaki Güneş Enerji Santralleri Panel Eğim Açısı Değişiminin Elektrik Üretimi Açısından İncelenmesi

 Ali Rıza DAL*

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Ankara, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ardal1969@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.869639

ÖZET

Dünya nüfusundaki artış, sanayideki büyüme ve gelişen teknoloji enerji tüketim talebini artırmaktadır. Enerji tüketimindeki bu artış iklim değişikliğine sebep olmaktadır. Güneş Enerjisi Santrallerinin (GES) hem iklim değişikliğini hem de ülkemizin enerjide dışa bağımlılığını azaltıcı bir etkisi vardır. GES’de elektrik üretimi için güneş panelleri kullanılmaktadır. GES’de güneşten en üst seviyede yararlanmak amaçlanmaktadır. Literatürde; yıllık ve mevsimsel olarak panel eğim açılarının değişim ile ilgili çalışmalar da mevcuttur. GES konut ve endüstrinin birçok alanında kullanılmasına rağmen yat limanlarında kullanılmamaktadır. Bu çalışmanın amacı bir yat limanı elektrik ihtiyacı için GES’den maksimum seviyede faydalanmaktır. Bu amaç kapsamında GES’de güneş panellerinin aylık optimum eğim açısının değiştirilmesi ile GES’in üretim veriminin artırılması analiz edilmiştir.

Analiz için Fethiye İlçesindeki bir yat limanının elektrik ihtiyacının 1500 kW gücünde olan GES ile tedarik edilebileceği tespit edilmiştir. Bu çalışmada Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi (PVGIS) simülasyon programı kullanılmıştır. Aynı şekilde GES panellerinin elektrik üretimi optimum eğim açılarında (0°, 8°, 13°, 19°, 24°, 31,7°, 35°, 40°, 49°, 50°, 59°) aylık bazda ayrı ayrı bulunmuştur. GES’de kullanılan panellerde aylık optimum eğim açılarının yılda 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 defa değiştirilmesi ile farklı gruplandırmalar yapılmıştır. Gruplandırmalarda panel eğim açılarındaki elektrik üretim verimleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda; 31,7°’lik eğim açısına göre 8’li gruplandırmada 129 MWh ve %5,24 oran ile verimde en yüksek, 2’li gruplandırmada ise 95 MWh ve %3,86 oran ile verimde en düşük artışın olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Güneş Paneli, Eğim Açısı Değişimi, PVGIS

Examination of The Changes of Inclination Angle of the Solar Power Plants at Yacht Marina Port Areas in Terms of Electricity Production

ABSTRACT

Increase in the world population, growth in industry and developing technology increase the demand for energy consumption. This increase in energy consumption causes climate change. Solar Power Plants (SPP) have an effect that reduces both climate change and our country's dependence on foreign energy. Solar panels are used for electricity generation in SPP. In SPP, it is aimed to benefit from the sun at the highest level. In the literature; There are also studies on the change of angle of the panel slope annually and seasonally. Although SPP is used in many areas of housing and industry, it is not used in yacht marinas. The purpose of this study is to utilize SPP at the maximum level for the electricity needs of a yacht marina. Within the scope of this purpose, it has been analyzed

to increase the production efficiency of solar panels by changing the monthly optimum inclination angle of solar panels in the SPP.

For analysis, it has been determined that the electricity requirement of a marina in Fethiye District can be supplied by GES with a power of 1500 kW. In this study, Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) simulation program was used. Likewise, electricity generation of SPP panels was found separately on a monthly basis at optimum inclination angles (0 °, 8 °, 13 °, 19 °, 24 °, 31.7 °, 35 °, 40 °, 49 °, 50 °, 59). Different groupings were made by changing the monthly optimum inclination angles 2, 3, 4, 5, 6, 7 and 8 times a year in the panels used in the SPP. Electricity generation efficiencies in panel inclination angles were compared in groupings. As a result of comparison; According to the inclination angle of 31.7 °, it has been determined that in 8 grouping, the efficiency is the highest with 129 MWh and 5.24%, and in the 2-group grouping it has been determined that the lowest increase is 95 MWh and 3.86%.

Keywords: Keyword 1, Solar Energy, Solar Panel, Inclination Angle Change, PVGIS

I. GİRİŞ

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de artan nüfus yoğunluğu, büyüyen iş kolları ve sanayi faaliyetleri sonucunda enerji tüketimine olan talep her yıl artış göstermektedir. Bu talep artışı beraberinde elektrik üretimi arzının ve buna bağlı olarak da sera gazı emisyonunun hızla yükselmesine sebep olmaktadır. GES iklim değişikliği ile mücadeleye olan olumlu katkısı ve enerjide dışa bağımlılığı azaltıcı bir etkiye sahiptir. Ayrıca, finansal ve stratejik faydaları değerlendirildiğinde önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlayan GES yaygınlaştırılarak elektrik üretiminde kullanılması büyük önem arz etmektedir. Bu doğrultuda, elektrik üretiminde GES uygulamalarına yönelik dünyada olduğu gibi ülkemiz çapında da son yıllarda ivme kazanmıştır.

GES’de güneşten günün her saatinde en yüksek seviyede yararlanmak amaçlanmaktadır. Bu hususta güneşin dönüş yönünü takip eden güneş panelleri geliştirilmeye başlanılmıştır. Literatür incelendiğinde; sabit eğimli paneller yerine, eksenel (yatay/dikey) hareket etme kabiliyeti olan panellerin verimiyle ilgili çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Ayrıca, güneş panellerin aylık ve mevsimsel optimum eğim açılarının değişim ile ilgili çalışmalarda yapılmaktadır.

Çalışmalarda, güneş panellerinden elde edilen enerji miktarı; enleme ve panelin yüzey ile yaptığı eğim açısına göre değişmektedir [1]. Literatürde eğim açısı ile ilgili bölgesel olarak birçok metodoloji geliştirilmiştir. İzmir’de maksimum enerji elde etmek için yapılan çalışmada; güney yönlü güneş panellerin optimum eğim açıları yaz ayları için enlemden 34° aşağı, kış ayları için enlemden 19° fazla ve yıllık optimum eğim açısı ise 30,3° olarak bulunmuştur [2]. Dört farklı şehirde (İstanbul, Ankara, Erzurum, Adana) yapılan çalışmada; optimum eğim açısının Erzurum ilinde 56° ile Aralık ayında, en düşük açının ise Adana ilinde 12° ile Haziran ayında gerçekleştiği belirtilmiştir [3]. Aınmelh M’sila konumu için şebekeye bağlı 1 MWp’lik bir fotovoltaik sistemin simüle ederek, sabit eğim için PVsyst’i kullanmış, ayrıca mevsimsel eğim ayarlamaları ile sabit eğim ve mevsimsel eğim için enerji verimindeki olası değişiklik performans oranları incelenmiştir [4]. Güney Afrika’da yapılan çalışmada, optimum eğim açısında sabitlenmiş kolektörlerin yataya sabitlenmiş kolektörlere göre %10 daha fazla ışınım aldığı görülmüştür [5]. Güneye yönlendirilmiş panellerde 20° ile 40° arasındaki eğimler için edilen yıllık toplam ışınımın yatayda elde edilen ışınımına göre sapması daha stabildir. Bu eğim aralığında maksimum değerden sapma %1,5 civarındadır [6]. PV panellerin yıl ya da mevsim boyunca sabit eğim açılarıyla yerleştirilmeleri yerine, basit ve ekonomik bir düzenek vasıtasıyla ayda bir defa o ayın optimum eğim açısına göre ayarlanarak kullanılmaları tavsiye edilmiştir [7]. Malezya’da beş farklı bölgede yapılan çalışmada, güneş panellerin aylık ve mevsimlik optimum eğim açıları belirlenmiştir. Aylık optimum eğim açılarının değiştirilmesiyle güneş panellerinde %5,02 ile 7,96 arasında, mevsimlik optimum eğim açılarının değiştirilmesinde ise %4,11 ile 5,85 arasında verim artışı olduğu belirtilmiştir [8]. Yüreğir ovasında yapılan çalışmada panellerin farklı eğim açılarında (15°, 30°, 45°, 60°) enerji üretimi

değişimleri anlık, günlük ve aylık ölçümleri yapılmıştır. Yıl boyunca 15° eğimle konumlandırılması durumunda diğer açılara kıyasla yılın ilk 4 ve son 4 ayı yaklaşık %7-10 enerji kaybı gerçekleştiği, aynı eğimle konumlandırılan paneller aradaki 4 aylık sürede diğer eğim açılarına göre daha avantaj sağladığı belirtilmiştir [9]. Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan çalışmada yıl boyunca eğim açısını aylık olarak değiştirilen panellerin, sabit panellere göre yıllık ortalama %5 daha fazla güneş ışımasını aldığı bulunmuştur [10].

Güneş Enerji Potansiyeli Atlası [11] incelendiğinde; ülkemiz coğrafi konumu itibarıyla Ege, Akdeniz, Orta Anadolu ve Güney Doğu Anadolu Bölgelerinin güneş ışımasını açısından avantajlı olduğu anlaşılmaktadır. Ülkemizde aynı zamanda Ege ve Akdeniz bölgeleri turizm potansiyeli yüksek olan bölgelerdir. Turizmde önemli gelir kalemlerinden biri de yat turizmidir.

Yat turizmi, insanların denizlerde seyahat etmesine imkân sağlayan sektörlerden biridir. Yat limanları ise yatlara güvenli barınma imkânı sunmaktadır. Türkiye'de turizm potansiyelindeki artış miktarına bağlı olarak yat limanlarında da elektrik ihtiyacı artmaktadır. Bu artış yaz aylarında maksimum seviyeye ulaşmakta diğer aylarda ise kademeli olarak düşmektedir. Güneşten elektrik üretimi de yaz aylarında maksimum seviyeye ulaşmaktadır [11]. Ülkemizde birçok sektör, ihtiyaçları olan elektriği GES uygulamaları ile elde etmeye başlamıştır. Türkiye kıyılarında toplamda 24.728 adet yat bağlama kapasitesine sahip 61 adet yat limanı [12] mevcut olmasına rağmen yapılan saha araştırmasında yat limanlarında güneş enerjisinden elektrik üretimi henüz bulunmamaktadır [13]. Ayrıca, yat limanlarının Akdeniz ve Güney Ege bölgelerinde yoğunlaşması ile söz konusu bölgelerin güneş enerji potansiyeli açısından yüksek olması bu bölgeleri ön plana çıkarmaktadır.

Literatürden anlaşılacağı üzere yapılan çalışmalarda daha çok bölgesel optimum eğim açılarının aylık, mevsimsel ve altı aylık durumu incelenmiştir. Ayrıca, yat limanları ihtiyacı olan elektriğin güneşten tedarikine ilişkin literatürde bir boşluğun olduğu tespit edilmiştir. Ülkemizdeki yat limanlarında güneşten su ısıtmak amacı dışında faydalanılmamaktadır. Bu çalışmanın amacı, güneş enerji potansiyeli fazla olan Akdeniz ve Ege kıyılarındaki yat limanlarının elektrik ihtiyacının GES ile karşılanması için literatüre ve yatırımcılara katkı sağlamaktır. Bunun için panellerdeki aylık optimum eğim açılarının aylık ve mevsimlik yerine yılda birden fazla kez değiştirilmesi ile elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir.

II. MATERYAL METOD

Dünya yüzeyine gelen güneş radyasyonunu tahmin etmek için simülasyon programları araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır. Bu gelişmiş programlar sayesinde çalışmalar ile gerçeğe yakın analizlerin yapılması kolaylaşmaktadır. PVGIS; Avrupa Birliği tarafından geliştirilen ve meteorolojik verileri kullanarak güneş ışınlamından elde edilebilecek elektrik enerjisini hesaplamaktadır. Bu simülasyon programı kullanıcılarına ücretsiz olarak sunulmaktadır. PVGIS; uygulama alanı koordinatlarına göre günlük, aylık ve yıllık optimum ışınlam değerleri ve üretilecek olan elektrik üretim miktarı hesaplanabilmektedir.

PVGIS simülasyon programı güneş ışınlam ve panel sıcaklığının etkilerini kullanarak hesaplama yapmaktadır. Güç P [W]; güneş ışınlamı ve panel sıcaklığına bağlı olarak Eşitlik (1-4) ile hesaplanmaktadır [14,15].

$$P(G_T', T') = G_T' (P_{STC,m} + k_1 \ln(G_T') + k_2 \ln(G_T')^2 + k_3 T' + k_4 T' \ln(G_T') + k_5 T' \ln(G_T')^2 + k_6 T'^2) \quad (1)$$

$$G_T' \equiv G_T / G_{STC} \quad (2)$$

$$T' \equiv T_{mod} - T_{STC} \quad (3)$$

$$\eta_{rel}(G_T', T') \equiv \frac{P(G_T', T')}{P_{STC,m} G_T'} \quad (4)$$

Burada, G_T' toplam güneş ışınımı ve T' panel sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$] normalize edilerek verilmiştir. k_1 'den k_6 'ya kadar olan katsayılar PV paneli cinsine özgü Avrupa Güneş Test Kurulumu (ESTI) tarafından ölçülen verilere bağlı değerlerdir. $P_{STC,m}$ Standart Test Koşullarındaki (STC) maksimum gücü [W] ifade etmektedir [15].

Ayrıca, Eşitlik (1-4)'de, T_{mod} panel sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$], STC'de $G_{STC} = 1000$ [W/m^2], $T_{STC} = 25$ [$^{\circ}\text{C}$] ve η_{rel} ise verimliliği belirtmektedir.

Çalışma kapsamında PVGIS programda;

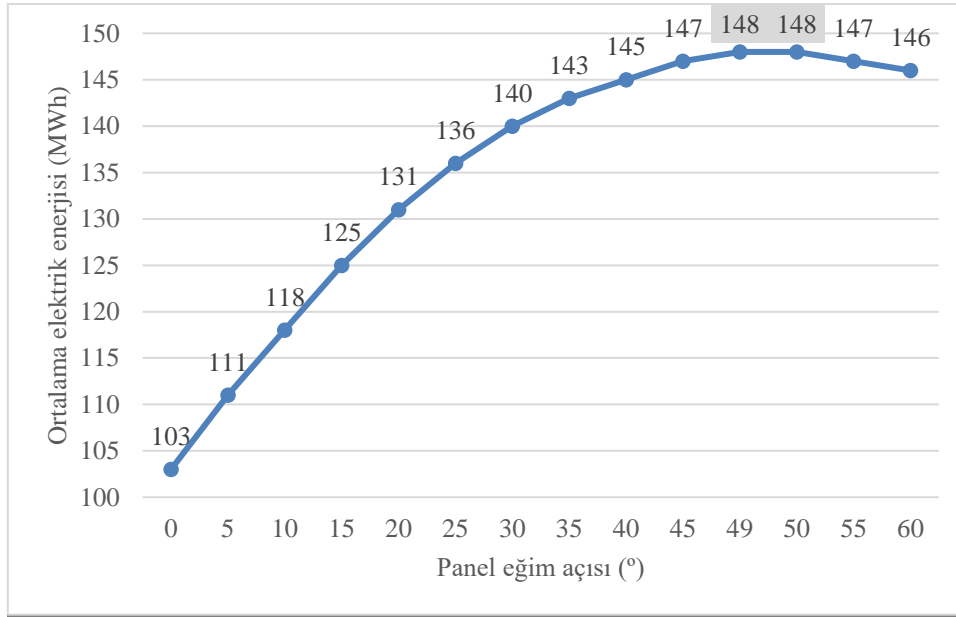
- GES'de kullanılan panel azimut açısı güney (0°)
- Panel malzemesi kristal silikon
- Sistem kaybı %14
- Sistem şebekeye (on grid) bağlı
- Güneş panellerinin kurulumunun yapılacağı alan işletmenin kendi tasarrufunda
- Tesiste trafo merkezinin işletmenin kendi tasarrufunda altında

olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca çalışmada, güneş ışınımı verileri yerine GES çıktısı olan elektrik enerjisi [MWh] verileri kullanılmıştır.

PVGIS programı yardımıyla önceki çalışmada [13] söz konusu yat limanında 1500 kW kurulu güce sahip olan GES'in güneş paneli optimum eğim açısı $31,7^{\circ}$ 'de yıllık 2.462 MWh elektrik üretimi ile maksimum verime ulaştığı görülmüş olup yat limanı ihtiyacını karşılayabileceği tespit edilmiştir.

Bu çalışmada yat limanı elektrik ihtiyacını karşılayacak olan GES'de kullanılan 1500 kW kurulu güce sahip güneş panellerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan, sadece her ay/aylar güneş panel eğim açısının değiştirilmesinin GES verimine etkisi analiz edilmiştir. Bu işlem GES imalatı esnasında basit bir aparat yardımıyla gerçekleştirilebilmektedir. PVGIS programında güneş paneli optimum eğim açısının aylık bazda 8° , 13° , 19° , 24° , $31,7^{\circ}$, 35° , 40° , 49° , 50° , 59° açılarda en yüksek elektrik üretimi değerleri ayrı ayrı bulunmuştur.

Örnek olarak Fethiye ilçesinde Şubat ayı için panel optimum eğim açısının tespiti için farklı eğim açılarında GES'den elde edilen elektrik üretim miktarı PVGIS programı ile hesaplanmış olup, Şekil 1'de verilmiştir. Hesaplamalar neticesinde çıkan verilerden 49° ve 50° eğim açısı için en yüksek GES elektrik üretim miktarı (148 MWh) elde edilmiştir. En yüksek elde edilen elektrik üretim miktarı 49° ve 50° olan bu eğim açıları, Şubat ayına ait optimum eğim açısı olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Şubat ayı için optimum eğim açısının belirlenmesi

Güneş panel eğim açısının yılda birden fazla kez farklı aylarda değişmesi durumu kombine edilerek gruplandırma yapılmıştır. Elektrik üretim değerleri farklı sayıda gruplandırma ile GES veriminin artırılması amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik PVGIS hesaplama sonucunda aylık gruplandırma şekli Tablo 1’de ayrıntılı olarak verilmiştir. Her bir grubun karşısında yılda kaç kez ve hangi aylarda farklı değişim grubunda olması gerektiği belirtilmiştir. Akabinde panelin eğim açısının yılda 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 defa değiştirilmesi durumunda elektrik üretimindeki artış miktarı ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplamalar ile güneş panelinin maksimum elektrik üretimi için hangi gruplarda daha verimli olduğu karşılaştırılmıştır.

Tablo 1. GES panelinde aylara göre gruplandırma

Gruplar	Yıldaki değişim miktarı	1. değişim grubu	2. değişim grubu	3. değişim grubu	4. değişim grubu	5. değişim grubu	6. değişim grubu	7. değişim grubu	8. değişim grubu
2’li gruplandırma	Yılda 2 defa değişim	Ocak, Şubat, Mart, Ekim, Kasım, Aralık	Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül	-	-	-	-	-	-
3’lü gruplandırma	Yılda 3 defa değişim	Ocak, Şubat, Mart, Ekim, Kasım, Aralık	Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos	Eylül	-	-	-	-	-
4’lü gruplandırma	Yılda 4 defa değişim	Ocak, Şubat, Ekim, Kasım, Aralık	Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos	Eylül	Mart	-	-	-	-
5’li gruplandırma	Yılda 5 defa değişim	Ocak, Şubat, Ekim, Kasım, Aralık	Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos	Eylül	Mart	Nisan	-	-	-

6'lı gruplandırma	Yılda 6 defa değişim	Ocak, Şubat, Ekim, Kasım, Aralık	Mayıs, Haziran, Temmuz	Ağustos	Eylül	Mart	Nisan	-	-
7'li gruplandırma	Yılda 7 defa değişim	Ocak, Şubat, Kasım, Aralık	Mayıs, Haziran, Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Mart	Nisan	-
8'li gruplandırma	Yılda 8 defa değişim	Ocak, Kasım, Aralık	Mayıs, Haziran, Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Şubat	Mart	Nisan

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Güneş ışığı; güneş panellerinin üzerine dik açıyla düştüğü sürece elektrik üretimi artış göstermektedir. Güneşi takip ederek güneş ışınlarının sürekli olarak dik alınmasını sağlayan sistemler geliştirilmektedir [16]. Yat limanının elektrik ihtiyacının GES'den karşılanması için PVGIS simülasyon programı kullanılarak elde edilen elektrik enerjisi miktarı Tablo 2 görülmektedir. Tablo 2 incelendiğinde, yıllık optimum eğim açısı 31,7° ile GES elektrik üretiminin 2462 kWh ile maksimum değere ulaştığı görülmektedir [13].

Tablo 2. GES panel optimum eğim açıları ve aylık üretilen elektrik miktarları (MWh) [14]

Panel eğim açısı	8°	13°	19°	24°	31,7°	35°	40°	49°	50°	59°
Ocak	103	112	123	130	140	143	147	153	153	155
Şubat	115	122	130	135	141	143	145	148	148	146
Mart	182	189	196	200	204	205	206	204	203	197
Nisan	222	226	228	229	227	226	222	213	211	197
Mayıs	255	255	253	250	243	239	231	215	213	191
Haziran	273	271	266	261	250	244	234	213	210	183
Temmuz	283	282	278	273	263	257	248	227	224	197
Ağustos	263	266	267	266	263	259	253	239	237	217
Eylül	216	223	229	233	236	237	236	231	230	220
Ekim	164	173	183	190	198	200	203	205	205	203
Kasım	121	132	143	152	162	166	171	177	177	179
Aralık	96	106	117	124	135	139	144	150	151	154
Toplam elektrik üretimi	2293	2357	2413	2443	2462	2458	2440	2375	2362	2239
Eao / Eyo	0,93	0,96	0,98	0,99	1,00	1,00	0,99	0,96	0,96	0,91

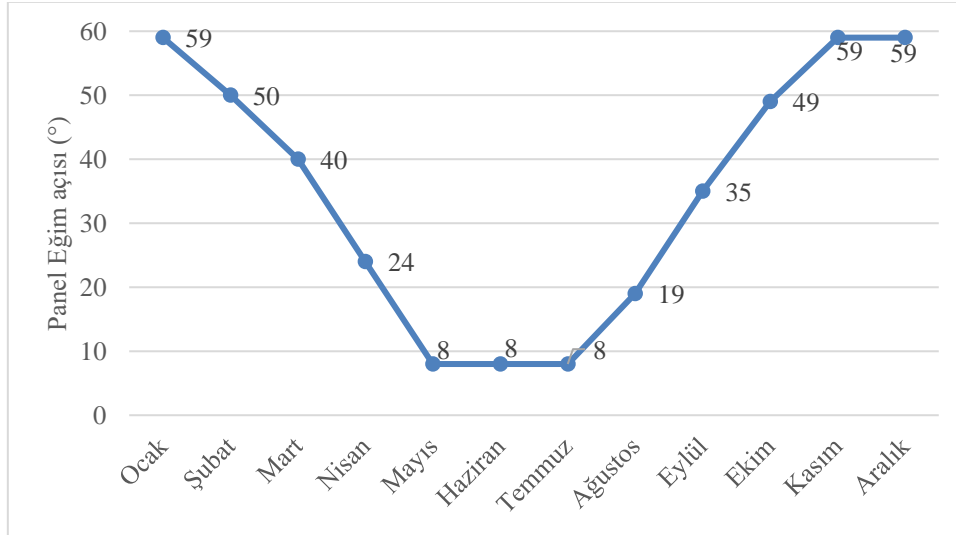
Tablo 2'de; gri renkli olan sütun daha önceki çalışmada [13] yıllık sabit bir eğim açısı ile elde edilen elektrik üretim miktarıdır. Ayrıca, her ay için optimum eğim açısındaki elde edilen maksimum elektrik üretimi sarı renkle belirtilmiştir. Sarı renklere, örneğin 31,7°de Ocak ayında 140 MWh üretim gerçekleşirken 59° eğimde 155 MWh'e ulaşmaktadır. Bu durum panel eğim açısının 59°'ye getirilmesi durumunda verimin artacağına ilişkin bir göstergedir. Ayrıca, panelin Ocak, Kasım ve Aralık aylarında 59°'ye getirilmesi ile üretilen elektriğin maksimum seviyede olması bir grup olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca yatay yönde yakınsama durumu dikkate alınarak diğer aylarda aynı şekilde gruplandırmaya dahil edilmiştir. Tablo 2'deki Eyo=2462 MWh olup 31,7°deki yıllık optimum eğim açısındaki elektrik

üretimini, Eao [MWh] ise her bir açıdaki toplam elektrik üretimini, Eao / Eyo ise eğim açısına bağlı verim oranını belirtmektedir

Tablo 2 incelendiğinde bazı açı ve aylarda maksimum değer eşit çıkmıştır Çalışmada bu durum dikkate alınmıştır. Fethiye ilçesi için optimum eğim açısı 59° ile Ocak, Kasım ve Aralık ayında en yüksek, 8° ile Mayıs, Haziran ve Temmuz ayında en düşük değerde maksimum elektrik üretimi gerçekleşecektir.

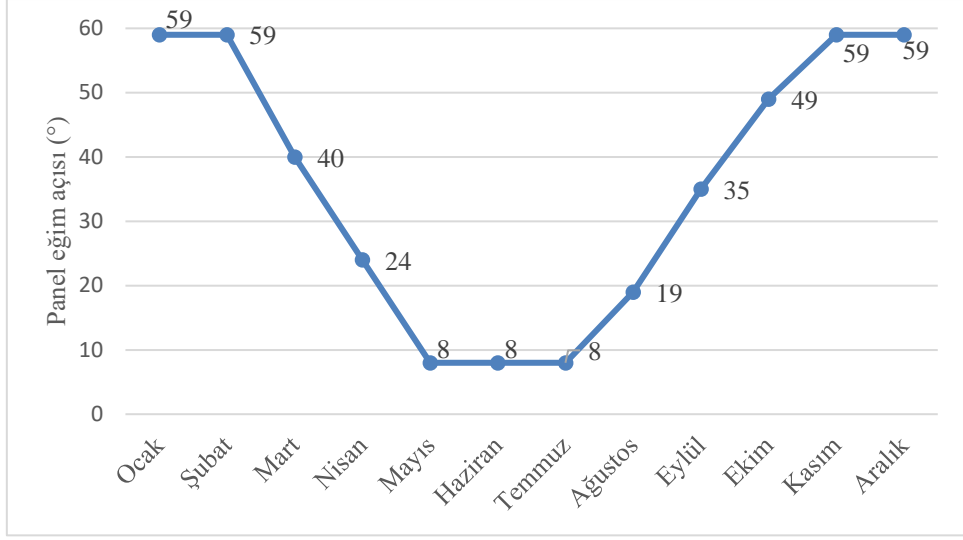
GES’de kullanılan güneş enerji panelleri eğim açıları yılda 2, 3, 4, 5, 6, 7, ve 8 defa değiştirilecek şekilde farklı aylarda kombinasyon oluşturularak gruplandırma yapılmıştır. Bu gruplandırma işleminde maksimum üretim değerleri elde edilecek şekilde sağdan ve soldan yakınsama olacak şekilde hesaplanma yapılmıştır. Aylara göre gruplandırma işleminde kullanılan açılar ve ait oldukları aylar ayrıntılı bir şekilde; Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8’de gösterilmiştir.

Şekil 2’de görüldüğü üzere açının yılda 8 defa (8’li grup); 8° (Mayıs, Haziran, Temmuz), 19° (Ağustos), 24° (Nisan), 35° (Eylül), 40° (Mart), 49° (Ekim), 50° (Şubat) ve 59° (Ocak, Kasım, Aralık) olmak üzere sekiz farklı kombineinden oluşmaktadır. GES’de bu durumda maksimum elektrik üretimi gerçekleşmektedir.



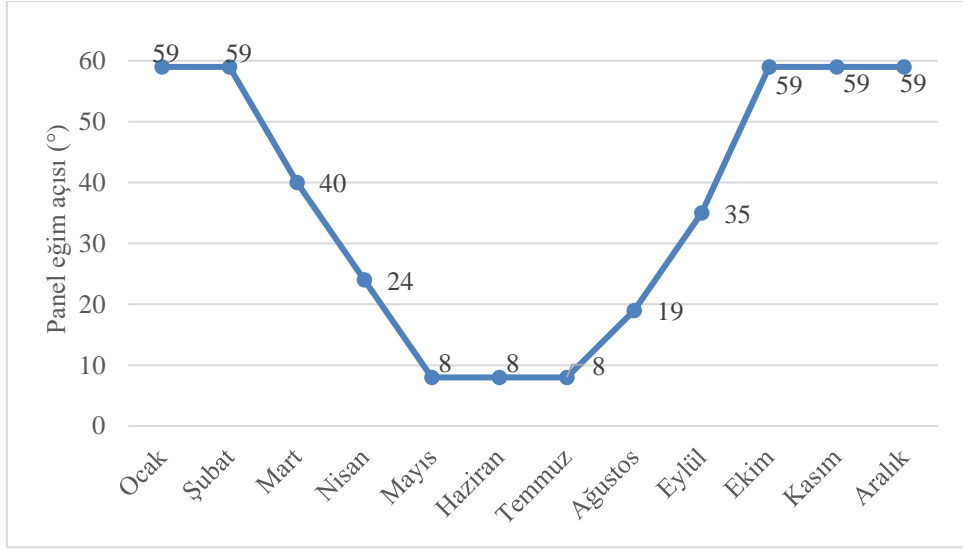
Şekil 2. Güneş paneli optimum eğim açılarının 8’li gruplandırma aylara göre dağılımı

Şekil 3’de; 8° (Mayıs, Haziran, Temmuz), 19° (Ağustos), 24° (Nisan), 35° (Eylül), 40° (Mart), 49° (Ekim) ve 59° (Ocak, Şubat, Kasım, Aralık) olmak üzere yedi farklı kombineinden oluştuğu durum verilmiştir. Şekil 2 ve Şekil 3’de birlikte incelendiğinde 50°’lik açı en yakın 59°’lik açı ile yakınsadığında verimin maksimum olduğu görülmüştür.



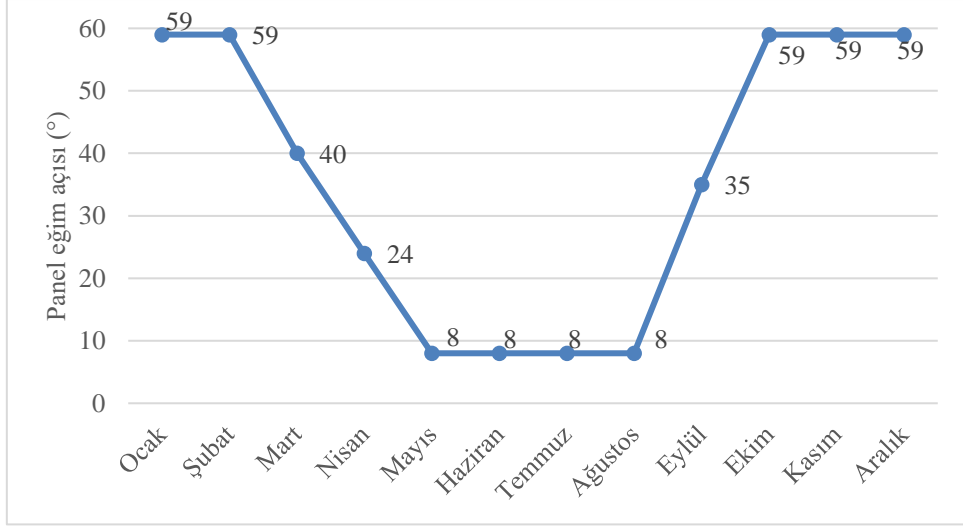
Şekil 3. Güneş paneli optimum eğim açılarının 7'li gruplandırılarda aylara göre dağılımı

Şekil 4'de açının yılda 6 defa değişim ile 8° (Mayıs, Haziran, Temmuz), 19° (Ağustos), 24° (Nisan), 35° (Eylül), 40° (Mart) ve 59° (Ocak, Şubat, Ekim, Kasım, Aralık) olmak üzere altı farklı kombinenden oluştuğu görülmektedir. Şekil 3 ve Şekil 4 incelendiğinde 49°'lik açı en yakın 59°'lik açı ile yakınsadığında 6'lı gruplar içerisinde en yüksek elektrik üretimi gerçekleşmiştir.



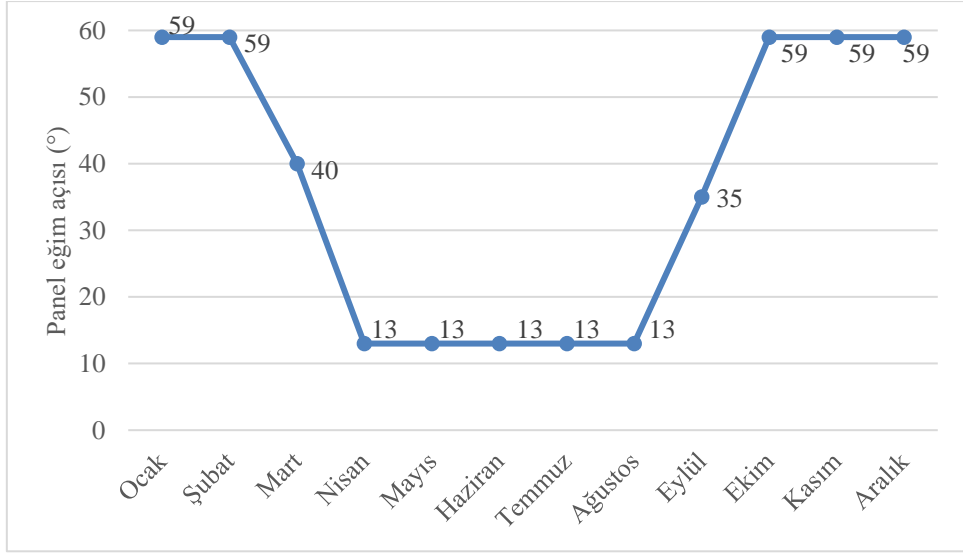
Şekil 4. Güneş paneli optimum eğim açılarının 6'lı gruplandırılarda aylara göre dağılımı

Şekil 5'de açının yılda 5 defa değişimi (5'li grup); 8° (Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos), 24° (Nisan), 35° (Eylül), 40° (Mart) ve 59° (Ocak, Şubat, Ekim, Kasım, Aralık) olmak üzere beş farklı kombinenden oluşmaktadır. Şekil 4 ve Şekil 5'de görüldüğü üzere 19°'lik açı en yakın 8°'lik açı ile yakınsamakta olup 5'li gruplar içerisinde en yüksek verim elde edilmiştir.



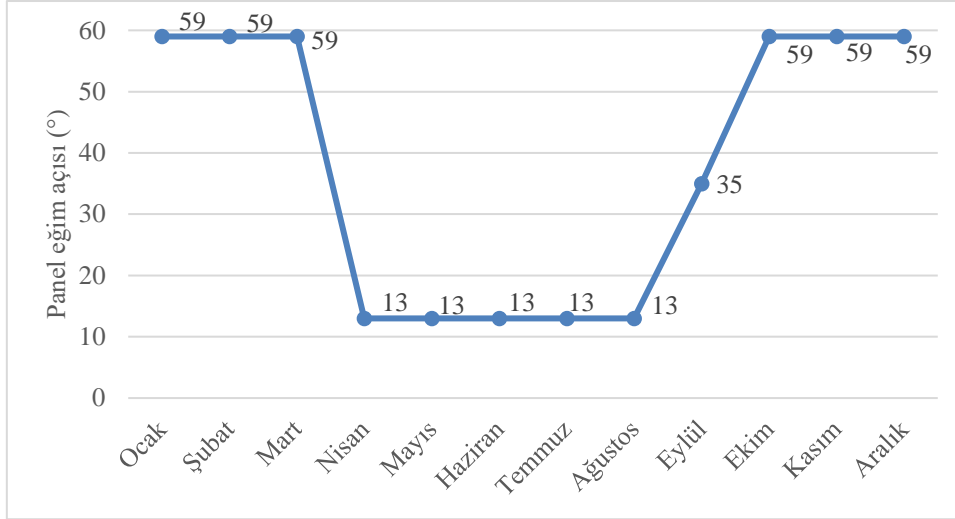
Şekil 5. Güneş paneli optimum eğim açılarının 5'li gruplandırılarda aylara göre dağılımı

Şekil 6'da görüldüğü üzere; 13° (Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos), 35° (Eylül), 40° (Mart) ve 59° (Ocak, Şubat, Ekim, Kasım, Aralık) olmak üzere dört farklı kombineleden oluşmaktadır. Şekil 5 ve Şekil 6'de birlikte incelendiğinde; 4'lü gruplandırmada 24° ve 8°'lik açılarının en yakın 13°'lik açı ile değişmesi durumunda verim maksimum değere ulaşmıştır.



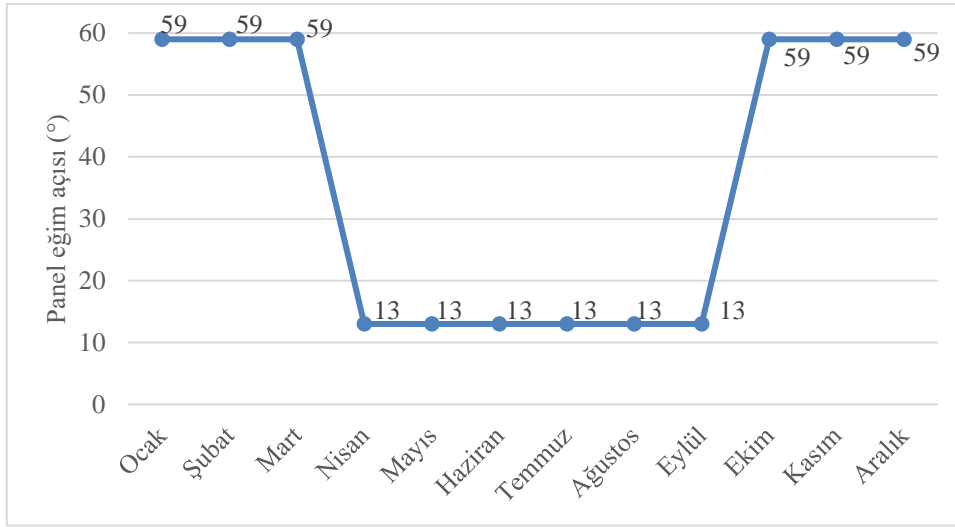
Şekil 6. Güneş paneli optimum eğim açılarının 4'lü gruplandırmada aylara göre dağılımı

Şekil 7'de; 13° (Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos), 35° (Eylül) ve 59° (Ocak, Şubat, Mart, Ekim, Kasım, Aralık) olmak üzere üç farklı kombineleden oluştuğu görülmektedir. Şekil 6 ve Şekil 7'de görüldüğü üzere Yılda 3 defa açı değişimi durumunda 40°'lik açının en yakın 13°'lik açı ile yakınsadığı ve verimin maksimum değere ulaştığı görülmüştür



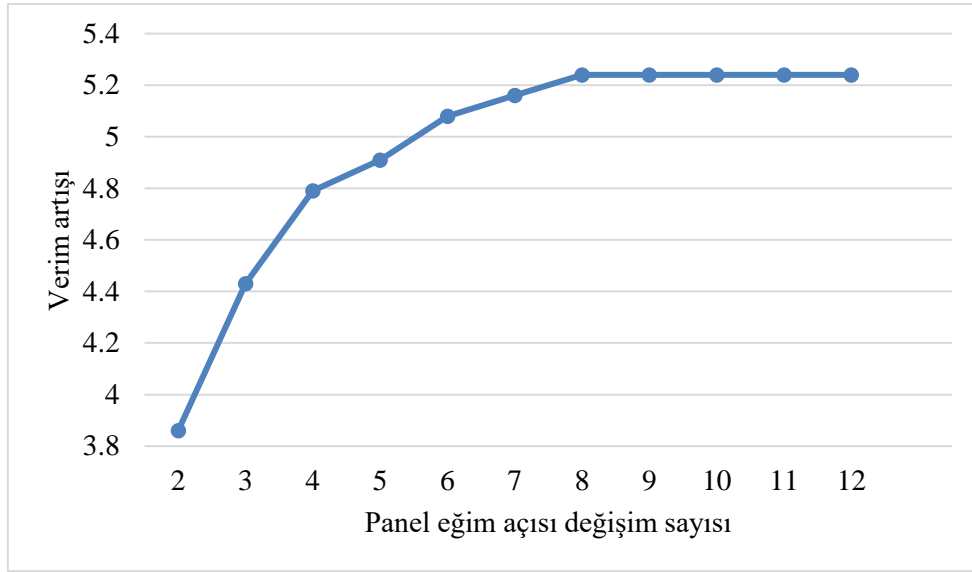
Şekil 7. Güneş paneli optimum eğim açılarının 3'lü gruplandırılmada aylara göre dağılımı

Şekil 8'de açının yılda 2 defa değişimi; 13° (Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül) ve 59° (Ocak, Şubat, Mart, Ekim, Kasım, Aralık) olmak üzere iki farklı kombinenden oluşmaktadır. Şekil 7 ve Şekil 8 beraber incelendiğinde 35°'lik açının en yakın 13°'lik açı ile yakınsamıştır. 2'li gruplandırmalar arasında verim en yüksek değere ulaşmıştır.



Şekil 8. Güneş paneli optimum eğim açılarının 2'li gruplandırılmada aylara göre dağılımı

Bahse konu şekillerde; Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında üretimin eşit olması nedeniyle aylık güneş paneli optimum eğim açısının değiştirilmeyeceği, Kasım, Aralık ve Ocak aylarında da aynı durumun söz konusu olduğu tespit edilmiştir. Bu durum gruplandırma sayısının azalmasına neden olmuştur. Şekil 9'da, güneş panel eğim açısı değişim grup sayısı ile verim arasındaki ilişki görülmektedir. Güneş panel eğim açısındaki gruplandırmada 9, 10, 11 ve 12'li gruplandırmada verimde bir artışın olmadığı görülmektedir. Aynı şekilde hesaplamalarda bahse konu dört değişim sonucunda GES'den elde edilecek olan elektrik üretiminde herhangi bir artış olmayacağı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, 9, 10, 11 ve 12'li gruplandırmalar değerlendirmeye alınmamıştır.



Şekil 9. Gruplandırma sayısı ile verim arasındaki ilişki

Aylık optimum güneş panel eğim açısındaki değişimi ile yapılan gruplandırmada üretilen elektrik miktarı Tablo 3’de görülmektedir. Ayrıca Tablo 3’de güneş panelinin yatay (0°) ve yıllık optimum eğim açısı ($31,7^\circ$) konumunda üretilen elektrik miktarları ile verim sonuçları verilmiştir. Tablo 3’de görüldüğü üzere, güneş panel eğim açısı değişim sayısı arttıkça GES’den elde edilen elektrik üretiminde de bir artış olduğu görülmüştür. Bu artış miktarı yılda; 2’li gruplandırmada en düşük seviyede, 8’li gruplandırmada ise en yüksek seviyede gerçekleşmiştir.

Tablo 3. GES panel eğim açısı grupları değişimindeki verim artışı (MWh) [12]

Aylar/ Gruplar	2’li grup	3’li grup	4’li grup	5’li grup	6’li grup	7’li grup	8’li grup	31,7° yıllık optimum	0° yıllık optimum
Ocak	155	155	155	155	155	155	155	140	86
Şubat	146	146	146	146	146	146	148	141	103
Mart	197	197	206	206	206	206	206	204	169
Nisan	226	226	226	229	229	229	229	227	214
Mayıs	255	255	255	255	255	255	255	243	252
Haziran	271	271	271	273	273	273	273	250	273
Temmuz	282	282	282	283	283	283	283	263	282
Ağustos	266	266	266	263	267	267	267	263	256
Eylül	223	237	237	237	237	237	237	236	202
Ekim	203	203	203	203	203	205	205	198	146
Kasım	179	179	179	179	179	179	179	162	102
Aralık	154	154	154	154	154	154	154	135	78
Toplam	2557	2571	2580	2583	2587	2589	2591	2462	2163
Üretimdeki artış	95	109	118	121	125	127	129	0	-299
Verim (%)	3,86	4,43	4,79	4,91	5,08	5,16	5,24	0	-12,14

31,7° yıllık optimum eğim açısı olup GES elektrik üretiminin 2462 kWh ile maksimum değere ulaştığı durum ile karşılaştırılma yapılmıştır. Karşılaştırmada güneş paneli eğim açısının yılda farklı aylarda 8’li gruplandırmada üretim artışının 129 MWh ve verimin %5,24 oran ile en yüksek, 2’li gruplandırmada ise üretim artışının 95 MWh ve %3,86 oran ile en düşük artışın olduğu tespit edilmiştir. Bu değerlerin literatürdeki benzer çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür [8,9,10].

Panelin 31,7°’lik eğim açısının yatay (0°) konuma göre karşılaştırılmasında yatay konumdan 299 MWh daha fazla elektrik üretimi gerçekleştirilerek verimin %12,14 orana yükseldiği görülmüştür. Diğer taraftan, 31,7°’lik eğim açısının yılda 8’li gruplandırma ile karşılaştırıldığında ise 8’li gruplandırmanın 129 MWh daha fazla elektrik üretimi ile verimin %5,24 oranında arttığı tespit edilmiştir.

Ayrıca Tablo 3’de görüldüğü üzere, 2’li gruplandırma ile 3’lü gruplandırma arasındaki üretim artış farkı 14 MWh ve %0,57 oranı iken, 7’li gruplandırma ile 8’li gruplandırma arasındaki üretim artış farkı 2 MWh ve %0,08 oranı ile gerçekleşmiştir. Bu fark gruplandırma sayısı arttıkça üretim miktarı artışının azaldığını göstermektedir.

Güneş paneli eğim açısının yılda farklı aylarda 8 defa değiştirilen gruptaki üretim artışının 2591 MWh ve verimin %5,24 olduğu durum dikkate alındığında; 1500 kW kurulu güce sahip GES kurulması yerine %5,24 oranında, yaklaşık 1425 kW’lik kurulu güce sahip bir GES yeterli olacaktır.

Bu kapsamda, GES’in ilk yatırım maliyeti ve geri ödeme süresi yeniden incelenmiştir. Kurulması öngörülen GES’de ilk yatırım maliyetinin belirlenmesi için piyasa araştırması yapılmıştır. 1425 kW kurulu güce sahip GES’in kurulması için gerekli olan panel, inventer, ekipmanlar ve alınacak müşavirlik hizmeti için toplam 6.379.287 TL olarak hesaplanmış olup Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. GES’de panel ve ekipman listesi ve fiyatı

Malzeme adı	Adet	Birim fiyat (TL)	Toplam fiyat (TL)	Maliyetteki payı (%)
GES paneli (Mono 380 W)	3750	782	2.932.500	54,2
İnverter (100 KW)	13	68.600	891.800	16,5
Taşıyıcı sistem (Aliminyum)	3750	95	356.250	6,6
Eğim açısı değişimi için basit düzenek	3750	9,5	35.250	0,7
Kablo, pano vb. malzeme ve kurulum	1	1.140.000	1.140.000	21,1
Müşavirlik hizmetleri	1	50.000	50.000	0,9
Toplam (KDV hariç)			5.406.175	
Toplam gider (%18 KDV dahil)			6.379.287	

Tablo 4’de toplam maliyet içerisinde en büyük paylar %54,2 GES panellerine, %21,1 ile kablo, pano vb. kurulum ve %16,6 ile inventere aittir. Taşıyıcı ve ilave basit düzeneğin GES içerisindeki payı %7,3 olup toplam maliyet içindeki oldukça düşük kalmaktadır.

GES tarafından yat limanı ihtiyacı olan enerjinin karşılanması durumunda Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu’nun (EPDK) belirlemiş olduğu fiyat tarifesi [17] esas alınarak yapılan hesaplamada; üretilen elektrikten yılda 2.045.432 TL tasarruf yapılabileceği hesaplanmıştır.

Yatırım projelerinde işletmeler yapacakları yatırım kararını, ilk yatırımın maliyetinin geri ödeme süresi belirlemektedir. Literatürde GES’lerin geri ödeme süreleri 4 yıla kadar düştüğü görülmektedir [18].

Yat limanına yapılacak GES yatırımının geri ödeme süresini belirlemede İndirgenmiş Geri Ödeme Süresi Yöntemi kullanılmış olup, Eşitlik (5)'e göre hesaplanmıştır [19].

$$\sum_{t=0}^{m-1} \frac{I_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=m}^n \frac{A_t}{(1+i)^t} \quad (5)$$

Burada;

m ; yatırımın kuruluş dönemi uzunluğunu

I_t ; t yılda katlanılan yatırım maliyetini

n ; yatırımın kuruluş dönemi ile ekonomik ömür süresi

A_t ; t yılda ortaya çıkan net nakit akışını

i ; iskonto oranını

ifade etmektedir.

Çalışmada yatırımın bir yıl gibi kısa bir sürede tamamlandığı, bugünkü değeri ile yılda 2.045.432 TL net getiri sağladığı ve %12 iskonto oranı kabul edilmiştir. Bu kabuller çerçevesinde Tablo 5'te, İndirgenmiş Geri Ödeme Süresi Yöntemine göre GES ilk yatırım maliyet ve geri ödeme süresi verilmiştir.

Tablo 5. İndirgenmiş geri ödeme süresine göre GES yatırımı geri ödeme süresi

	Net akış (TL)	İndirgenmiş net nakit akışları (TL)	Birikimli indirgenmiş net nakit akışı (TL)	Kalan ödeme (TL)	Geri ödeme süresi (yıl)
Temel yıl (0)	-6.379.287	-6.379.287			
1. yıl	2.045.432	1.826.279	1.829.053	4.553.008	
2. yıl	2.045.432	1.630.606	3.456.884	2.922.403	
3. yıl	2.045.432	1.455.898	4.912.783	1.466.504	
4. yıl	2.045.432	1.299.909	6.212.692	166.595	
5. yıl	2.045.432	1.160.633	7.373.325	-994.038	4,14

Yapılan hesaplama sonucunda GES'in ilk yatırım maliyeti olan 6.379.287 TL'nin geri ödeme süresinin 4,14 yıl olduğu hesaplanmıştır. Çalışmada $n = 5$ yılın sonrasında hesaplama yapılmamıştır.

Yıllık 31,7° optimum eğim açısı ile 1500 kW kurulu güce sahip olan GES'in kurulması için ilk yatırım maliyetinin 6.612.951 TL ve bu maliyetin geri ödeme süresinin ise 4,34 yıl olduğu daha önceki çalışmada bulunmuştur [20].

Bu kapsamda, 8'li gruplandırmada yat limanı için kurulu gücün 1500 kW'den 1425 kW'a düşmesinde durumunda GES'in ilk yatırım maliyeti 233.664 TL daha az olacaktır. İlk yatırım maliyetinin geri ödeme süresi ise 4,34 yıldan 4,14 yıla düşecektir.

Çalışmanın daha önce yapılan çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür [18, 20].

IV. SONUC

Yapılan hesaplamalar sonucunda; Fethiye İlçesindeki bir yat limanının elektrik ihtiyacının GES ile karşılanması durumunda güneş paneli eğim açısının basit aparatlarla yılda birkaç defa değiştirilmesi durumunda güneş ışınımından daha fazla faydalanılacaktır. Bu fayda GES'den elde edilecek olan elektrik enerjisi verimini artıracak anlamı taşımaktadır.

Güneş panelinin hem 8° ve hem de 59° eğim açılarında ardışık üç ay maksimum enerji elde edilmesi panel açısı değişim sayısını azaltmıştır.

8’li gruplandırmanın üzerinde gruplandırma oluşturulmasının GES verimine katkısı olmadığı anlaşılmıştır.

Aylardaki gruplandırma sayısı arttıkça veriminde arttığı, ancak gruplar arası artış oranında bir azalma olduğu görülmüştür.

Yat limanına kurulacak 1500 kW kurulu güce sahip GES’de sadece eğim açısının yılda farklı aylarda 8 defa değiştirilen gruptaki üretimin 129 MWh en yüksek, yılda 2 defa değişim olan gruptaki üretimin 95 MWh ile en düşük artışın olduğu tespit edilmiştir.

Panelin yılda 2 defa ile 8 defa değişimi arasında %1,38 gibi önemli bir verim artışı olduğu saptanmıştır.

Yılda 8 defa değiştirilen grup dikkate alındığında; yat limanına kurulacak GES için 1500 kW yerine 1425 kW’lik bir güç yeterli olacaktır.

Yat limanlarına yapılacak olan GES yatırımlarında panel açısının yılda 8 defa değiştirilmesi ile aynı enerji elde edilmekle birlikte ilk yatırım maliyetinde 233.664 TL azalma oluşmuştur.

Yılda 8 defa değiştirilen gruptaki üretim artışının, 1500 kW güce göre GES ilk yatırım maliyetinin geri ödeme süresinde 0,2 yıl gibi bir azalma olduğu tespit edilmiştir.

Yat limanlarına GES’lerin kurulması ile enerji tasarrufu politikaları ile uyumlu, ülkemiz ekonomisine ve çevreyi korumaya olumlu katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmanın literatürle uyumlu olduğu görülmüş olup, ülkemizdeki yat limanlarında GES kurulmasına yönelik çalışmalara katkı sunacaktır.

V. KAYNAKLAR

[1] S. Roberts, and N. Guariento, *Building Integrated Photovoltaics A Handbook*, Berlin, Germany: Birkhauser Press, 2009.

[2] K. Ülgen, “Optimum Tilt Angle for Solar Collectors. Energy Sources, Part A: Recovery,” *Utilization, and Environmental Effects*, c. 28 s. 13, ss. 1171-1180, 2006, doi:10.1080/00908310600584524

[3] A. Çağlar, “Farklı derece-gün bölgelerindeki şehirler için optimum eğim açısının belirlenmesi,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 22, s. 2, ss. 849-854, 2018, doi:10.19113/sdufbed.94899

[4] R. Tallab and A. Malek, “Predict system efficiency of 1 MWc photovoltaic power plant interconnected to the distribution network using PVsyst software,” presented at 3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), Marrakech, Morocco, 2015.

[5] W. G. Le Roux, “Optimum tilt and azimuth angles for fixed solar collectors in South Africa using measured data,” *Renewable Energy*, vol. 96, pp. 603-612, 2016.

[6] E. Yıldırım and M.A. Aktacir, “Investigation of azimuth and tilt angle effects on building integrated photovoltaic systems,” *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 34 no. 2, pp. 609-619, 2019.

[7] M. Aydın ve B. Yeşilata, “Fotovoltaik panellerde eğim açısı etkisinin deneysel olarak saptanması,” *Termodinamik Dergisi*, c. 148, ss. 88-98, 2004.

- [8] T. Khatib, A. Mohamed, M. Mahmoud and K. Sopian, "Optimization of the Tilt Angle of Solar Panels for Malaysia," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 37, no. 6, pp. 606-613, 2015.
- [9] M. Bilgili ve M. Dağtekin, "Fotovoltaik piller ile elektrik üretiminde uygun eğim açısının ve yıllık oluşan enerji farkının belirlenmesi," *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, c. 6, ss. 156-167, 2017.
- [10] W.D. Lubitz, "Effect of manual tilt adjustments on incident irradiance on fixed and tracking solar panels," *Applied Energy*, v. 88, no. 5, pp. 1710-1719, 2011, doi:10.1016/j.apenergy.2010.11.008
- [11] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2020, 15 Aralık). *Güneş enerji potansiyeli atlası (GEPA)* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/>.
- [12] Tersaneler ve Kıyı Yapıları Genel Müdürlüğü, (2021, 10 Ocak). *Yat limanı bilgileri* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://tkygm.uab.gov.tr/uploads/pages/limanlar-ve-kiyi-yapilari/3-yat-limanlari-bilgileri.pdf>.
- [13] A.R. Dal ve F. Yılmaz, "Ticari bir yat limanının elektrik ihtiyacının fotovoltaik (PV) teknoloji ile karşılanmasına yönelik bir inceleme," *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, c. 25 s. 3, ss. 1189-1204, 2020.
- [14] European Commission. (2020, December 15). *Photovoltaic geographical information system (PVGIS)* [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/methods>.
- [15] T. Huld, G. Friesen, A. Skoczek, R.P. Kenny, T. Sample, M. Field and E.D. Dunlop, "A power-rating model for crystalline silicon PV modules," *Solar Energy Materials & Solar Cells*, v. 95, pp. 3359-3369, 2011.
- [16] D. Vasarevicius and R. Martavicius, "Solar irradiance model for solar electric panels and solar thermal collectors in Lithuania," *Electronics and Electrical Engineering*, vol. 108, no. 2, pp. 3-6, 2011.
- [17] Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, (2020, 15 Aralık). Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tabloları. <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>.
- [18] E. Sulukan, "İstanbul'da bir fotovoltaik sistemin tekno-ekonomik ve çevresel analizi," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 26, s. 1, ss. 127-132, 2020.
- [19] H. Eski ve Ö. Armaneri, *Mühendislik Ekonomisi*, Ankara: Gazi Kitabevi, 2006.
- [20] A.R. Dal ve F. Yılmaz, "Yat limanı için güneş enerjisi sistemi yatırımının maliyet ve çevresel analizi," *4. Uluslararası Ekonomi, Finans ve Enerji Kongresi*, Niğde- Türkiye, 2020, ss. 645-655.